

## Geologie / Paläontologie / Mineralogie

### Die Entwicklungsgeschichte junger Landformen lässt sich aus dem Digitalen Geländemodell von Baden-Württemberg ableiten

Von ELENA BECKENBACH, Stuttgart.

Mit 7 Abbildungen.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Das hochauflösende, großflächige digitale Geländemodell (DGM) von Baden-Württemberg eignet sich besonders für geomorphologische Interpretationen junger Landschaftsformen. Mit einer geeigneten Software (TERRAINVIEW) lassen sich feine morphologische Strukturen sichtbar machen, identifizieren, kartieren und in einen genetischen Zusammenhang bringen. Dabei ist die Genauigkeit mindestens so hoch wie bei der traditionellen Kartierung. Allerdings bietet die große Höhengenaugigkeit (0,1 m) und vertikale Auflösung (1 m) in Kombination mit einer (über)regionalen Ansicht die Möglichkeit, sich schnell einen Überblick über die Landschaft zu verschaffen. So werden Zusammenhänge und Entwicklungsprozesse deutlich. Vor allem bei jungen Landschaften beherbergt das DGM ein reiches Inventar morphologischer Sedimentations- und Erosionsstrukturen, aus denen die Entwicklungsgeschichte abgeleitet werden kann. Beispiele dafür sind die Eiszerfallslandschaft in Oberschwaben sowie die fluviale Dynamik im Oberrheingraben. In Oberschwaben konnten alle bekannten Landschaftselemente identifiziert und kartiert werden. Darüber hinaus konnte ein Entwässerungsszenario für die Schussen entworfen werden. Im Oberrheingraben zeigte sich bei starker Überhöhung und angepasster Farbhöhenskalierung ein reiches Inventar fluvialer Strukturen. Daraus ließen sich auf der Niederterrasse 17 fluviale Gebiete voneinander abgrenzen, die vom Markgräfler Land bis zum Bergstraßenneckar reichen und als zusammenhängendes System das Ostrandfluss-System bildeten. Dieses weist in den meisten Gebieten mehrere Fließgenerationen auf, die sich von verflochten zu mäandrierend entwickelten. Anhand des Unterschneidungskriteriums konnte eine relative Altersabfolge abgeleitet werden, die zeigt, dass die Gebiete tendenziell von Norden nach Süden inaktiv wurden.

**Schlüsselwörter:** DGM, Baden-Württemberg, Oberschwaben, Rheingletscher, Oberrheingraben, Kinzig-Murg-Rinne, Ostrandfluss-System.

#### ABSTRACT

The LiDAR-based digital terrain model (DTM) of Baden-Wuerttemberg has a resolution of 1 m in horizontal and 0.15 m in vertical direction. This large-area and high-resolution dataset enables large-distance correlation of geomorphic phenomena and the geomorphic interpretation of landforms. By using a suitable software (TERRAINVIEW) for visualization, mapping and interpretation in scales

from hundreds of kilometers to tens of meters is possible. This allows for efficiently shifting between the genetic evolution and the fine details of a landscape. In Baden-Wuerttemberg, this is especially advantageous for investigating young landscapes like the late glacial and periglacial landforms in the Lake Constance/Oberschwaben area and the extensive Late Pleistocene to Holocene fluvial plains of the Upper Rhine graben. A rich interior of erosional and sedimentary patterns tell the story of development.

In the Lake Constance/Oberschwaben area, a large variety of landforms related to the last (Wuermian) glaciation has been identified. All known features could be identified within the DTM, in addition the fluvial history of the Schussen valley could be drafted. In the Late Pleistocene to Holocene fluvial plains of the Upper Rhine graben, a complex network of fluvial channels, bars and relict dunes appears under strong vertical exaggeration and adapted color scaling. The DTM clearly reveals a highly mobile belt of amalgamating and intersecting braided stream deposits on the eastern fluvial terrace („Niederterrasse“), between Schliengen (south of Freiburg) and Heidelberg. These deposits can be subdivided into 17 different morphologic units, showing relative stratigraphic relations (older/younger) which indicate a gradual but not consistent inactivation from North to South. Within most of these morphologic units, several fluvial generations originated, often including an evolution from braided to meandering systems.

**Key words:** DEM, Baden-Wuerttemberg, Southern Germany, Upper Rhine Graben, Rhine glacier.

## EINLEITUNG

Aus den Geobasisdaten von Baden-Württemberg lässt sich flächendeckend ein hochauflösendes digitales Geländemodell (DGM) erstellen. Sie resultieren aus flugzeugbasierten Laserscan-Befliegungen, welche das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (LGL) in den Jahren 2000 bis 2005 beauftragt hatte. Die Geobasisdaten bilden die gesamte Geländeoberfläche von Baden-Württemberg (> 35.000 km<sup>2</sup>) in einem gleichmäßigen 1 m-Raster und mit einer Höhengenaugigkeit von 0,15 m ab.

Für die Darstellung des gesamten Datensatzes und für eine systematische geomorphologische Analyse war es notwendig, eine geeignete Software zu entwickeln. Mit dieser Aufgabe betraute der Direktor des Instituts für Visualisierung der Universität Stuttgart, THOMAS ERTL, seinen Mitarbeiter THOMAS MÜLLER. Zunächst wurden die Daten in eine Quadtree-Struktur überführt. Eine solche hat den Vorteil der einfachen Datenstrukturierung, da die Daten in verschiedenen Ebenen einer Baumstruktur hierarchisch gespeichert sind. Dazu wird das Gebiet in Quadrate unterteilt. Jedes Quadrat zerfällt in der nächsten Ebene in vier gleichgroße, quadratische Flächen, und jedes dieser Quadrate zerfällt in der darunterliegenden Ebene wiederum in vier gleichgroße, quadratische Flächen. Mit dem Programm TERRAINVIEW können die Geobasisdaten so in neun Auflösungsstufen (LOD) verzögerungsfrei in Ortho- oder Perspektivansicht und mit beliebiger Farbgebung und Überhöhung dargestellt werden. Darüber hinaus

kann der Schattenwurf beliebig eingestellt werden, sodass direkt ein Schummerngmodell dargestellt wird. Mit verschiedenen Werkzeugen können die Daten morphometrisch analysiert und Profillinien erstellt werden.

Durch verzögerungsfreies Navigieren sowie Ein- und Auszoomen kann unmittelbar vom Detail auf großflächige Zusammenhänge geschlossen werden und umgekehrt. Dies gilt insbesondere für die gut erhaltenen jungen glazial und periglazial überprägten Landschaftselemente in Oberschwaben. Ebenso kann in großen Flächen mit sehr geringen Reliefunterschieden, wie beispielsweise dem Oberrheingraben, die fluviale Architektur der spätpleistozänen und holozänen Ablagerungen bis ins Detail rekonstruiert werden. Dabei kommen vor allem die Software-Werkzeuge Überhöhung und Schattenwurf sowie eine eng angepasste Farbgebung zum Einsatz.

Hochauflösende großflächige DGM sind ein sehr nützliches Werkzeug zur Gliederung und Interpretation junger Landformen. Dies wird im Folgenden anhand zweier Beispiele verdeutlicht, die Auszüge aus der Dissertation der Verfasserin (BECKENBACH 2016) sind.

#### **GLAZIALE UND PERIGLAZIALE LANDSCHAFT IN OBERSCHWABEN**

Die glazial und periglazial überprägte Landschaft Oberschwabens beinhaltet einen reichen Schatz an Landschaftselementen, welche die Prozesse von Vereisung und Eiszerfall zeigen. Die bekannten Elemente, wie Endmoränen, lokale Moränenrücken der Abschmelzstadien, Zungenbecken, Aufschotterungsebenen, Drumlins und Terrassenschachteln, können mit großer Zuverlässigkeit im DGM kartiert und interpretiert werden. Bisher in Oberschwaben unbekannte Elemente – wie Mikromoränen und Esker – sind zunächst im DGM aufgefallen und danach im Gelände bestätigt worden (BECKENBACH et al. 2014). Mit dem Kegelwerkzeug im Programm TERRAINVIEW lässt sich der würmeiszeitliche Rheingletscher simulieren und seine Volumina während der Stadien der Äußeren und der Inneren Würmendmoräne bestimmen. Daraus lässt sich die Schmelzrate berechnen (BECKENBACH 2016). In diesem Aufsatz wird aufgezeigt, welche Eiszerfallsformen im Großraum Aulendorf im DGM identifiziert werden können und wie sich die Entwässerungsgeschichte im oberen Schussenbecken anhand subglazialer und eisrandparalleler Täler rekonstruieren lässt.

#### **Eiszerfallslandschaft bei Aulendorf**

Im Großraum Aulendorf (Aul, Abb. 1) hat der Rheingletscher die Landschaft geformt. Eine Vielfalt von Landformen dokumentiert Vereisung und Eiszerfall. Zwischen Riß (schwarz, danubisch) und Schussen (weiß, rheinisch) verläuft die heutige Wasserscheide von Donau und Rhein. Wegen des verhältnismäßig flachen Reliefs ist die Erosionsenergie schwach. Dies verhindert allzu starke Erosion und erklärt, warum die Eiszerfallsmorphologie hier so gut erhalten ist.

Die Höhenzüge der beiden Würmendmoränen (weiß gepunktete Linien) bestimmen das Landschaftsbild um Aulendorf. Sie entstanden im Hoch- und Spätglazial des Würmkomplexes. Außerhalb der Äußeren Würmendmoräne

(weiß gepunktete Linie, ÄWEM) ist eine sanfte Hügellandschaft verbreitet. Diese rührt sehr wahrscheinlich von älteren (rißeiszeitlichen) Drumlinfeldern (1) her, die von mehrmaligen Solifluktionsprozessen überarbeitet sind. Auch zwischen der Äußeren und der Inneren Würmendoräne (weiß gepunktete Linie, IWEM) treten hügelige Stellen auf, die möglicherweise ebenfalls Relikte rißeiszeitlicher Drumlins (2) sind. Auf Grund ihrer Lage sind diese jedoch zusätzlich auch vom Gletschereis überprägt, das die Äußere Würmendoräne aufbaute. Die Äußere Würmendoräne (weiß gepunktete Linie, ÄWEM) ist deutlich im DGM zu erkennen und bildet einen 15 bis 20 m hohen Rücken, der im Detail kartiert werden kann. Dabei ist aus dem DGM ersichtlich, dass sie im westlichen und nordwestlichen Teil von zahlreichen Toteislöchern durchsetzt ist, wohingegen sie sich im östlichen Teil als scharf begrenzter Rücken durch die Landschaft zieht. Wie bei Winterstettenstadt (Win) und Hebershausen (Heb) ist die Äußere Würmendoräne an mehreren Stellen durchbrochen (rote Kreise), hier waren wahrscheinlich ehemals Gletschertore. Dort liegen außerhalb der Endmoräne kilometerweite periglaziale Schotterebenen, die bis heute als Saulgauer Ebene (3), Riedtal Ebene (4) und Haidgauer Heide (5) erhalten sind. Innerhalb der Äußeren Würmendoräne pausen sich parallel zum Hauptücken Moränenfragmente durch (weiß gestrichelte Linien), die mit etwa 1 km Abstand nebeneinander liegen. Sie dokumentieren kurzzeitige, nahezu stationäre Phasen während des Eisabbaus. Weitere mögliche Relikte solcher Moränenfragmente (6) sind zwischen Musbach (Mus), Altshausen (Alt) und Hoßkirch (Hos) vorhanden. Im östlichen Lobus sind zwischen Bad Schussenried (BSch) und Bad Waldsee (BWa) in diesem Gürtel nur chaotische Eiszerfallsformen erhalten (7), die fluvial überprägt sind.

Was auf der Innenflanke der Äußeren Würmendoräne überall und eindeutig zu identifizieren ist, sind elliptische Randbecken (x). Diese radial angeordneten Randbecken flachen in Richtung des ehemaligen Eisrandes ab und weisen alle Entwässerungsspuren nach Norden auf. In diesen „Mini-Zungenbecken“ hat der Gletscher den Untergrund geebnet. Sie sind wenige Quadratkilometer groß und ihre oberflächliche Ausdehnung ist deutlich geringer als diejenige der (älteren) Schotterebenen außerhalb der Äußeren Würmendoräne. Einzige Ausnahme hierbei ist das Pfrunger Ried (Pfr), das sowohl während des Stadiums der Äußeren Würmendoräne als Randbecken, als auch während des Stadiums der Inneren Würmendoräne als Schotterebene diente.

Auch die Altshausener Ebene ist geprägt von Eiszerfallsformen: Neben lokalen Moränenfragmenten ragen 1 bis 5 m hohe und 800 m lange Höhenzüge (8) aus der Umgebung, die als mögliche Eskerrelikte gedeutet werden. In den Senken dazwischen entwickelten sich nach der Vereisung Torfmoore und kleine Seen (graue Flächen). Ebenfalls typisch für eine solche Eiszerfallslandschaft sind Kameterrassen (9), die teilweise die Randbecken (x) begrenzen. Im Gürtel zwischen den Randbecken und der Äußeren Endmoräne haben sich chaotische Moränenrelikte erhalten.

Östlich von Aulendorf ist ein komplexes Muster von Rinnen im Detail erhalten. Wegen der hohen Auflösung des DGMs ist es möglich, diese Muster detail-

liert morphometrisch zu analysieren und so die glazio-fluviale Entwicklung zu rekonstruieren. Steinachtal und Durlesbachtal entstanden wahrscheinlich als eisrandparallele Rinnen. Östlich von Bergatreute (Ber) folgt das Steinachtal im Oberlauf (fein gepunktete und durchgezogene weiße Linien) dem Verlauf der Äußeren Würmendoräne und entwässerte ursprünglich nach Norden (gestrichelte rote Linie). Dort durchbrach eine möglicherweise ehemals subglaziale Rinne die Äußere Würmendoräne. Mit fortschreitender Rückverlagerung des Eisrandes wanderten die nun freiliegenden Teile der ehemaligen subglazialen Rinne als eisrandparallele Rinne in Richtung Westen (türkisfarbene gestrichelte Linie) und entwässerte über einen benachbarten Durchlass, der heute vom Oberlauf der Riß durchflossen wird. Mit fortschreitendem Eiszerfall verlagerte sich das mittlerweile verflochtene System (blau und rosa gestrichelte Linien) und es entstand eine Sequenz von Rinnen parallel zum sich immer weiter nach Süden verlagernden Eisrand. Dabei überarbeitete das Steinachsystem zwischen Bad Waldsee (BWa) und Bad Schussenried (BSch) vereinzelte Moränen zu stromlinienförmigen Relikten. Der Durlesbach ist ein Nachfolger des Steinachsystems und entwickelte sich vergleichbar: Er floss ebenfalls parallel zum schwindenden Eisrand in die zwischenzeitlich verlassene Zopfstrom-Ebene der Steinach und entwickelte dort eine Sequenz von eisrandparallelen Rinnen (rot, türkisfarbene und blau gepunktete Linien). Diese entwässerten in eine subglazial angelegte Rinne, die am heutigen Schussenursprung oder an benachbarten Durchlässen die Äußere Würmendoräne durchbrach (rote Kreise). Heute fließt in dieser Rinne die Schussen nach Süden. Der tiefe Einschnitt des heutigen Schussentobels begann erst, als der Gletscher das Föhrenrieder Becken (Föh) freigelegt hatte.

### **Gesamtschau Oberschwaben**

„Das Potential zur Erkennung und Korrelation junger glazialer Landformen ist in einem großflächigen, hochauflösenden DGM sehr hoch“ (BECKENBACH 2016). Im Untersuchungsgebiet Oberschwaben ist die Landschaft glazial, periglazial und postglazial geprägt. Die hohe Auflösung des DGM offenbart bei geeigneten Visualisierungseinstellungen zahlreiche Details der glazialen und periglazialen Strukturen. Dazu zählen Zungenbecken, lokale Moränenrücken, Esker, subglaziale und eisrandparallele Täler, Mikromoränen und Terrassenschachtelung. In Oberschwaben konnten bei der Kartierung im DGM alle bekannten glazigenen morphologischen Strukturen der letzten (würmeiszeitlichen) Vereisung erfasst werden, wohingegen ältere eiszeitliche Formen im DGM nur sehr vereinzelt zu erkennen sind. Als Referenz für bekannte eiszeitliche Strukturen dienten die geologischen Karten im Maßstab 1:25.000 und 1:50.000 (SCHMIDT & BRÄUHÄUSER 1911; WEIDENBACH 1975, 1997; SCHMIDT et al. 1979; HANSEL 1989; SZENKLER & ELLWANGER 1996, 1997a, 1997b, 2001a, 2001b, 2001c; ELLWANGER et al. 2011).

Im Vergleich zur traditionellen Geländeaufnahme erreicht die Kartierung im DGM mindestens dieselbe Genauigkeit. Ein wesentlicher Vorteil ist jedoch, dass die Kartierung hier wesentlich schneller ist und morphologisch ähnliche Gebiete direkt identifiziert werden können. Ein Beispiel dafür sind die möglichen Rißeis-

zeitlichen Drumlinfelder bei Aulendorf (1 in Abb. 1), was die geologische Karte bestätigt (Blatt 8023 Aulendorf, WEIDENBACH 1975). Bei der Geländearbeit können strittige Punkte untersucht werden. Ein weiterer und entscheidender Vorteil liegt in den großflächigen und zugleich hochgenauen Daten. Dadurch können die Formen und Strukturen in unterschiedlichen Auflösungsstufen im Detail erkannt und direkt über große Entfernungen korreliert werden. So kann sich der Kartierende sehr schnell ein zusammenhängendes Bild über die Landschaft und ihre Entstehung machen, was bei der Geländearbeit erst die genaue Kenntnis mehrerer Aufschlüsse ermöglicht (WEIDENBACH 1975). Ein Beispiel dafür sind die subglazialen Rinnen und eisrandparallelen Täler im Oberlauf der Schussen zwischen Bad Schussenried (BSch), Aulendorf (Aul), Bad Waldsee (BWa), Bergatreute (Ber, Abb. 1) und sogar noch weiter nach Osten. In der großflächigen Zusammenschau im DGM ist daraus direkt ein Szenario der Entwässerungsgeschichte der Schussen zu rekonstruieren.

### **SPÄTPLEISTOZÄNE UND HOLOZÄNE FLUSSDYNAMIK IM OBERRHEINGRABEN**

Die geringen topographischen Höhenunterschiede im Oberrheingraben lassen diesen im DGM zunächst als einheitliche Fläche erscheinen. Sobald in TERRAIN-VIEW allerdings eine Darstellung mit starker Überhöhung und eng angepasster Farbhöhencodierung eingestellt ist, wird eine komplexe fluviale Landschaft sichtbar. Das reiche Spureninventar dokumentiert die fluviale Dynamik sowohl in der rezenten Talauie als auch auf dem Hochgestade. Die jüngsten Sedimentations- und Erosionsprozesse sind in der heutigen Talauie mit verlandeten Mäanderschlingen und Altarmen abgebildet. Auf dem Hochgestade sind fluviale Spuren erhalten, welche stellenweise von der rezenten Talauie abgeschnitten sind und folglich vor der Eintiefung der rezenten Talauie angelegt wurden. Diese Sedimentations- und Erosionsstrukturen reichen von der Gemeinde Schliengen im Süden über den Neckarfächer bei Heidelberg bis zu den Spuren des ehemaligen *Bergstraßenneckars* im Norden und dokumentieren unterschiedliche Flusssysteme und Fließregime. Zwischen Breisgau und Neckarfächer konnten 17 Gebiete voneinander abgegrenzt werden, wovon jedes mindestens ein kohärentes Flusssystem umfasst. Die Gebiete schneiden sich gegenseitig ihre Sedimentations- und Erosionsstrukturen ab. Anhand dieses Unterscheidungsmerkmals ist eine eindeutige Altersbeziehung der Gebiete zueinander abzuleiten: Das unterschrittene Gebiet ist älter als das unterschneidende. In den meisten Gebieten sind mehrere fluviale Generationen zu beobachten, die tendenziell mit einem verflochtenen Sedimentationsmuster beginnen und im Spätstadium in ein mäandrierendes Muster übergehen. An mehreren Stellen sind Durchbrüche zur heutigen Talauie beziehungsweise Unterschneidungen durch die heutige Talauie zu beobachten.

#### **Zwischen Weingarten und Bruchsal**

In Abb. 2 sind mehrerlei Spuren der fluvialen Dynamik zu erkennen. Zunächst ist das Bild durch eine sehr enge Farbhöhencodierung auf einen Höhenbereich

von nur 10 m (105 bis 115 m) dreigeteilt. Im Westen der Rhein und die rezente Talaue mit ineinandergreifenden verlandeten Mäanderschlingen (dunkelblau), im Osten die Hänge des Kraichgaus (grau) und in der Mitte das dominierende Hochgestade (grün bis rot). Im Bereich zwischen Weingarten und Forst sind vier Gebiete (4, 5, 6 und 7) voneinander abzugrenzen, die sich zeitlich unterschiedlich entwickelt haben. Alle Gebiete sind parallel zur heutigen Talaue ausgerichtet und setzen sich nach Norden und/oder Süden weiter fort. Außer den fluvialen Spuren sind (Relikte von) Dünen erhalten, die unterschiedlich stark überprägt sind. Am deutlichsten ist ein zusammenhängender Dünenzug (Höhe bis 8 m), der sich von Friedrichstal nach Südwesten erstreckt (weiß gestrichelt). Östlich von Friedrichstal sind auf einer Erhebung reliktsich Sanddünen (D) erhalten. Zwischen Friedrichstal und Graben (schwarz gestrichelter Kreis) liegt ein Gebiet, das wohl ebenfalls – ein stark fluvial überprägtes – Dünenfeld ist.

In den Gebieten 7, 5 und 4 sind stromlinienförmige Relikte zu erkennen, die als Sedimentbarren interpretiert werden und Spuren eines verflochtenen Flusssystemes sind. Gebiet 7 unterschneidet Gebiet 5, was an Geländekanten mit deutlichen Höhenunterschieden (rote Linien) zu erkennen ist. Außerdem schneidet Gebiet 7 Rinnen (schwarz gepunktet) und Sedimentbarren von Gebiet 5 ab. Somit ist Gebiet 7 jünger als Gebiet 5. Zugleich deuten die unterschrittenen Rinnen und Sedimentbarren darauf hin, dass Gebiet 5 ursprünglich weiter nach Westen reichte. Die Rinnen des verflochtenen Flusssystemes in Gebiet 5 (schwarz und weiß gepunktet) liegen auf unterschiedlichen Höhen. Außerdem sind auf den Sedimentbarren und innerhalb der Rinnen weitere fluviale Muster zu erkennen. Diese Beobachtungen lassen darauf schließen, dass häufige Rinnenverlagerungen stattgefunden haben, wie es typisch für verflochtene Flusssysteme ist. Die Rinnen der Gebiete 5 und 4 liegen in ähnlichen Höhen, allerdings werden Rinnen von Gebiet 4 (grau gepunktet) vom westlich gelegenen Gebiet 5 unterschritten. Außerdem sind auch zwischen den beiden Gebieten Geländekanten (rote Linien) ausgebildet. Folglich sind sie als zwei getrennte Gebiete anzusehen. Wahrscheinlich stellten die Gebiete 7, 5 und 4 ursprünglich ein zusammenhängendes System dar, das sich zunehmend nach Westen verlagerte und eintiefte. Heute nutzen die aktiven Fließgewässer Pfinz und Saalbach Rinnen des verflochtenen Systems (rosa Pfeile) und überprägen diese.

Gebiet 4 verläuft entlang der Hochgestadekante und wird von Gebiet 7 ab- und unterschritten. Ein direkter Altersbezug zu den Gebieten 5 und 6 lässt sich nicht herstellen. Zwischen Friedrichstal und Graben ist Gebiet 7 geprägt von einem mosaikartigen Sedimentmuster (schwarz gestrichelter Kreis), das von zahlreichen Rinnen durchzogen ist. Im Detail können hier drei Rinnengenerationen anhand ihrer Ausrichtung und Morphologie unterschieden werden (BECKENBACH 2016). Einige größere Rinnen sind Nord-Süd ausgerichtet (rot gepunktet) und werden nördlich von Graben von der rezenten Talaue unterschritten. Ebenfalls von dieser unterschritten wird eine mäandrierende Rinne entlang der Hochgestadekante (türkisfarben gepunktet). Diese ist deutlich und am tiefsten in das Hochgestade eingeschnitten. Aus den Höhenlagen lässt sich ableiten, dass ihr

Gefälle nach Norden gerichtet ist. Bemerkenswert ist, dass sie auch bei Rastatt (Abb. 3) zu beobachten ist. Außerdem hat sich mit vergleichbarer Morphologie eine Rinne entlang der Hochgestadekante nördlich von Kehl sowie im Markgräfler Land zwischen Neuenburg und Hartheim in das Hochgestade eingeschnitten. Wegen ihres tiefen und deutlichen Einschneidens ist sie als eine der jüngsten beziehungsweise als die am längsten aktive fluviale Struktur auf dem Hochgestade anzusehen. Diese Abbildung zeigt beispielhaft, dass ältere Fließsysteme auf dem Hochgestade eher ein verflochtenes Muster und jüngere ein zunehmend mäandrierendes Muster aufweisen.

### **Terrassengenerationen zwischen Rastatt und Malsch**

Rund 40 km südlich von Bruchsal liegt Rastatt an der Murg. Zwischen Rastatt und Malsch hat sich ein verhältnismäßig junges System in das Hochgestade eingeschnitten, dessen Einschneidungsprozess mit mindestens vier Generationen dokumentiert ist (Abb. 3). Im Gegensatz zu den reliktsichen fluvialen Strukturen auf dem umliegenden Hochgestade und zu den älteren Generationen entwässerte die jüngste Generation nach Süden in Richtung Murg. Keines der Systeme ist heute noch aktiv.

In rund 122 m Höhe liegen auf beiden Seiten des heutigen Federbachs Relikte eines verflochtenen Systems (grün gepunktet). Sie sind die Spuren des höchst gelegenen und somit ältesten Flusssystems (Generation 1) und korrespondieren mit dem benachbarten Gebiet 6. Darin hat sich später und mit einer Kante (orange gestrichelt) Generation 2 eingeschnitten. Dessen Relikte (orange gepunktet) in 120 m Höhe weisen ebenso auf ein verflochtenes System hin. Es korrespondiert gleichermaßen mit Gebiet 6. Ähnliche fluviale Muster in gleicher Höhenlage nördlich von Malsch (orangenes „?“) lassen vermuten, dass während dieser Phase eine Verbindung nach Norden über Ettlingen bis Karlsruhe existierte. Die Rinnen der zweiten Generation sind von einer Geländekante abgeschnitten (dicke weiße Linie, Gebietsgrenze), deren Sprunghöhe bis 6 m betragen kann. Auch auf Terrassenrelikten in etwa 118 m Höhe (rote Farbhöhenkodierung) dokumentieren stromlinienförmige Sedimentbarren und fluviale Strukturen (weiß gepunktet) ein verflochtenes Fließregime (Generation 3). Die Form der Sedimentbarren und die Höhenlagen der Rinnen lassen vermuten, dass diese dritte Generation noch nach Nordosten entwässerte. Später bildete sich eine weitere Geländekante (blau gestrichelt), als das Gelände bis auf das Niveau der breiten Talsohle (116 m, gelbe Farbhöhenkodierung) ausgeräumt wurde. Allerdings sind die Rinnen (blau gepunktet), welche sich darin als vierte Generation eingeschnitten haben, Spuren eines mäandrierenden Systems, das zudem nach Südwesten entwässerte. Innerhalb dieser Generation entwickelten sich mehrere Mäandergenerationen, Altarme und Totwasser. Von Generation 3 (weiß) zu Generation 4 (blau) haben sich also Fließregime und Fließrichtung geändert. Auch die Formen der vierten Generation werden von einer Geländekante (rote Linie) abgeschnitten, welche ein Murg-Vorläufer erodiert hat. Der rezente Federbach fließt nur teilweise in den mäandrierenden Rinnen und ebenfalls nach Südwest-



ten. Er unterschneidet wiederum die von der Murg geschaffene Geländekante (rote Linie).

Die Veränderung des Fließregimes von verflochten – in den frühen Stadien – hin zu mäandrierend – nach der Eintiefung – fällt mit dem Wechsel der Entwässerungsrichtung von Nordost (auf Gebiet 6 und den Terrassenrelikten) nach Südwest (heutige Entwässerungsrichtung) zusammen. Für einen Wechsel von verflochtenem zu mäandrierendem Fließregime müssen sich die Wassermenge, die Sedimentfracht und/oder die Höhenlage des Vorfluters (der Gradient) verändert haben, und zwar in einem solchen Maße, dass sich auch die Entwässerungsrichtung umkehrte. Verschiedene Szenarien sind denkbar: Entweder kam es bei Malsch durch vermehrte Materialschüttung des Federbachs zur Ablagerung eines Schwemmfächers, der den Abfluss nach Norden verhinderte. Der Schwemmfächer ist jedoch verhältnismäßig klein und kann nur dann ein Hindernis gewesen sein, wenn die Wassermenge bereits recht klein war. Möglich ist auch, dass der Zustrom aus Süden zum Rhein durchgebrochen ist und von dort kein Wasser mehr angeliefert wurde. Wahrscheinlicher ist, dass sich der Vorfluter (Murg oder Rhein) tiefer eingeschnitten hat und sich dadurch das Gefälle erhöht sowie die Entwässerungsrichtung umgekehrt haben. Sicher ist, dass die Murg in einem späteren Stadium das Federbachsystem wiederum unterschritten hat, eine Geländekante (rote Linie in Abb. 3) erodierte und danach ihren Weg durch das heutige Stadtgebiet von Rastatt suchte.

#### **Fluviale Strukturen südlich der Kinzig**

Obwohl in der Literatur der Begriff „Kinzig-Murg-Rinne“ (z. B. BLUM 1998; HOLZHAUER 2013) verbreitet ist, legen die Beobachtungen im DGM nahe, dass das beschriebene System auf der Niederterrasse auch Zustrom von südlich der Kinzig hatte. Konkret lässt sich auf der Niederterrasse zwischen Rust, Ettenheim und Kinzig ein Abschnitt mit fluvialen Erosions- und Sedimentationsprozessen identifizieren (Abb. 4), der mit den Gebieten 13 und 14 zwei Flusssysteme dokumentiert.

Zunächst fällt auf, dass sich Gebiet 14 als eine Art breite Mittelrinne in das höher gelegene Gebiet 13 eingeschnitten hat. Somit ist Gebiet 13 in einen westlichen und einen östlichen Bereich geteilt. Diese Bereiche ähneln sich sowohl hinsichtlich ihrer Höhenlage als auch hinsichtlich ihrer unruhigen Morphologie. Speziell im westlichen Bereich sind fluvial überprägte Dünenrelikte erhalten, deren Ausrichtung Südwest-Nordost ist (Abb. 5). Auch an diesem Beispiel lässt sich eine Kette aufeinanderfolgender Prozesse beobachten: Form und Dimension der Dünenrelikte und der darin eingetieften Rinnen weisen darauf hin, dass zunächst mehrfach ein verzopftes System aktiv war (Abb. 5). Später hat sich dieses zu einem System mit wenigen Südwest-Nordost-ausgerichteten Schlingen gewandelt (türkisfarbene Linien in Abb. 5). Die Schlingen haben ein Gefälle nach Nordosten und sind tiefer als die Rinnen des vorangegangenen, verzopften Systems. Vereinzelt führen sie heute Wasser. Die Ausrichtung während beider Stadien zeigt eindeutig, dass hier Wasser von Südwest nach Nordost geflossen ist.

Als drittes haben sich zwei Geländekanten (weiß gepunktete Linien in Abb. 5) gebildet, welche die schlingenbildenden Rinnen abschneiden und folglich jünger als die beiden vorausgegangenen Prozesse sein müssen. Aufgrund ihrer Ausrichtung bestand ab diesem Stadium eine andere Entwässerungsrichtung.

Die beiden Geländekanten (weiß gepunktet in Abb. 5) untergliedern das westliche Gebiet 13 in die drei Bereiche E, F und G, wobei die Bereiche von Osten nach Westen topographisch zunehmend tiefer liegen. Abschnittsweise fließen entlang der Geländekanten rezente Gewässer. Die östliche Kante unterschneidet Gebiet E mit 1,3 bis 1,5 m, die westliche Kante grenzt die Bereiche F und G mit maximal 1 m Höhenunterschied voneinander ab. Beide Kanten unterschneiden Sedimentbarren und Rinnen (türkisfarbene Linien in Abb. 5). Insbesondere die Südwest-Nordost-ausgerichteten Formen im westlichen Abschnitt (G in Abb. 5) sind stark erodiert und von der Hochgestadekante wiederum unterschritten. Auch im West-Ost-Querprofil (Abb. 6) nördlich von Schuttern offenbaren sich die unterschiedlichen Höhengniveaus. Außerdem ist darin zu erkennen, dass eine weitere Geländekante (dünne, weiß gepunktete Linie) den Bereich G untergliedert. Als Konsequenz kann hier die Grenze zwischen Rheinaue und Niederterrasse nicht eindeutig gezogen werden. Zwar unterschneidet die Rheinaue mit einer Geländekante den westlichen Bereich G, jedoch sind dort auch verlandete Rheinmäander reliktsch erhalten. Unter Berücksichtigung aller Teilbereiche ( $G_{\text{tief}}$ ,  $G_{\text{hoch}}$ , F, E) hat sich hier eine vierstufige Hochgestadekante ausgebildet. Zu beobachten ist außerdem, dass zwischen Lichtenau (nördlich von Kehl) und Whyll (Abb. 4) der Höhenunterschied zwischen Rheinaue und Niederterrasse gering ist und diese somit ebenfalls kaum voneinander abzugrenzen sind.

Im DGM sind keine Strukturen erkennbar, die eindeutig den geringen Höhenunterschied zwischen Rheinaue und Niederterrasse erklären beziehungsweise einen Hinweis darauf liefern, warum sich die Hochgestadekante mehrstufig ausgebildet hat. Anhand des DGM kann eine ursächliche tektonische Komponente weder bestätigt noch ausgeschlossen werden. Wegen des jungen Entstehungsalters könnten auch morphologische Prozesse ursächlich sein. Klar ist, dass die Bereiche E, F,  $G_{\text{hoch}}$ ,  $G_{\text{tief}}$  von Osten nach Westen zunehmend tiefer liegen und dass die Bereiche E und F leicht nach Osten einfallen (Abb. 6). Dies lässt darauf schließen, dass die Bereiche von Osten nach Westen inaktiv wurden. Außerdem zeigt die Südwest-Nordost-Ausrichtung der Sedimentbarren, dass der Zustrom für das gesamte Gebiet 13 sehr wahrscheinlich aus Südwesten erfolgte.

In Gebiet 13 hat sich eine Rinne – Gebiet 14 – maximal 2 m tief eingeschnitten (Abb. 4). Sie ist bei Lahr über 2,8 km breit und hat bei Schuttern mit etwa 1,2 km ihre schmalste Ausdehnung. Im Sedimentationsraum der Kinzig bei Rust kann Gebiet 14 nicht eindeutig abgegrenzt werden (Zickzacklinie in Abb. 4). An der westlichen Grenze markiert die Strich-Punktlinie den möglichen Grenzverlauf (Abb. 4); sie zeigt an, wo das ausgeräumte Gebiet 14 in Dünen oder Dünenrelikte übergeht. Die Tatsache, dass Gebiet 14 vollkommen von Dünenrelikten ausgeräumt ist, sowie die unterschrittenen Sedimentbarren verdeutlichen, dass Ge-

biet 14 jünger sein muss als Gebiet 13 (vgl. zu diesem Abschnitt BECKENBACH 2016).

Im Detail zeigt sich, dass Gebiet 14 vorwiegend langgezogene anastomosierende Rinnen (rote Linien in Abb. 5) beherbergt, deren Eintiefung minimal ist. Relikte eines verzopften Systems (schwarzer Kreis in Abb. 5) sind nur direkt westlich von Lahr zu beobachten, wo sich der Schwemmfächer der Schutter verbaut. Hier ist (wegen der Sedimentanlieferung der Schutter?) zugleich auch die schmalste Stelle von Gebiet 14. Nördlich des Schwemmfächers ist das Gelände stark anthropogen überprägt. Dies führt zur Überlegung, ob das lokale verzopfte System in direktem Zusammenhang mit dem Schwemmfächer steht. Die Sedimentbarren und Rinnen scheinen nicht vom Schwemmfächer umgelenkt worden zu sein. Mit Hilfe des Überlappungskriteriums ist folglich darauf zu schließen, dass das verzopfte System älter ist als der Schwemmfächer. Eine großräumige Änderung des Wasser- oder Sedimentangebots im Hinterland, die dazu führt, dass sich ein Schwemmfächer aufbaut, kann nicht ursächlich sein für ein nur sehr lokal ausgebildetes verzopftes System. Für folgendes Szenario gibt es im DGM keinen Hinweis, schließt dieses aber auch nicht aus: Möglich ist, dass das verzopfte System zunächst weit verbreitet war und sich im Laufe der Zeit und mit zunehmender Verflachung – vor allem nördlich des Schwemmfächers – zu einem System mit gestreckten Rinnen (rote Linien in Abb. 5) entwickelte. Als letzte Spuren des ehemals verflochtenen Systems sind nur die Rinnen bei Lahr (schwarzer Kreis Abb. 5) erhalten.

Auch bei einer weiteren Frage stößt das DGM an seine Grenzen: Woher kam das Wasser, welches Gebiet 14 durchfloss? Als Antwort bieten sich drei Möglichkeiten: a) das Wasser kam aus der Freiburger Bucht im Süden; b) das Wasser floss bei Whyl oder Rheinhausen (Abb. 4) aus einem Rheinvorläufer, einem Illvorläufer oder einem gemeinsamen (verflochtenen) Rhein-Ill-Vorläufer-System aus Südwesten in das Gebiet 14; c) Schwarzwaldflüsse lieferten von Osten das Wasser an. Möglichkeit c) ist unwahrscheinlich, weil erstens die Wassermassen zu gering sind und zweitens die Fließrichtung nicht passt. Die Orientierung der Sedimentbarren und die daraus abgeleitete Südwest-Nordost-Fließrichtung lässt nur Möglichkeit b) zu, und zwar in dem Stadium, als das Vorläufer-System nicht mehr verflochten, sondern bereits auf wenige Rinnen kanalisiert war.

Weiter nördlich, zwischen Kinzig und Murg, zeigt das DGM ein ähnliches Szenario wie südlich der Kinzig: Im Osten und Westen ein höher gelegeneres, älteres Gebiet und ein jüngerer Gebiet, das sich als Mittelrinne darin eingeschnitten hat. Morphologie und Altersbeziehung gleichen jeweils den hier beschriebenen Gebieten 13 und 14. Dies legt nahe, dass, bevor die Kinzig zum Rhein durchbrach, die Gebiete südlich und nördlich von ihr eine verbundene Fläche bildeten. Darin hat sich später eine durchgehende Mittelrinne von Rust bis zur Murg eingeschnitten. Erst mit dem Durchbruch der Kinzig aus dem Schwarzwald zum Rhein entstanden separate Systeme. Aus dem DGM geht nicht hervor, ob das Teilstück im Norden oder Süden länger aktiv war.

### Gesamtschau Oberrheingraben

Zunächst stellt sich der Oberrheingraben im DGM als einheitliche Fläche mit nur wenigen strukturellen Details dar. Dies liegt an den sehr geringen Höhenunterschieden. Sobald die Werkzeuge Überhöhung und Farbgebung ihre entsprechende Anwendung finden (mindestens 20-fache Überhöhung), offenbart sich jedoch eine komplexe fluviatile Landschaft in der Talau und auf der Niederterrasse. Hier zeigt sich, dass ein hochauflösendes DGM hervorragend für die Erkundung der jungen Flussdynamik geeignet ist. Insbesondere das reiche Inventar an fluvialen Strukturen auf der Niederterrasse kann so erkundet werden. Dabei zeigen sich neben unterschiedlich gut erhaltenen Dünenkämmen und Dünenfeldern verschiedene Generationen von Mäanderschlingen, Sedimentbarren und Rinnen. Mit dem DGM können im Oberrheingraben zum ersten Mal Flächen genetisch zusammengebracht werden. Auf der (baden-württembergischen) Rheinniederterrasse offenbart sich ein durchgehendes fluviiales System, das von Schliengen bis zum Neckarfächer bei Heidelberg reichte. Wahrscheinlich hatte es Verbindung zum Bergstraßenneckar und darüber hinaus. Schon in der historischen Literatur (TULLA 1822) wird diese Hypothese kontrovers diskutiert.

Mittels des Unterscheidungskriteriums können die Sedimentations- und Erosionsspuren in 17 Gebiete zusammengefasst werden, die in einer relativen, aber eindeutigen Altersbeziehung zueinander stehen. Aus dieser Altersbeziehung lässt sich die Tendenz ableiten, dass die Gebiete im Süden länger aktiv durchflossen waren als im Norden. An mehreren Stellen bricht das Gesamtsystem nach Westen zur rezenten Talau durch. Einzelne nördlicher gelegene Gebiete können auch danach noch lokal aktiv gewesen sein. Unabhängig davon zeigen die meisten Gebiete in ihrer Entwicklung mehrere Generationen, beginnend mit einem verflochtenen Sedimentationsmuster, das in einem späteren Stadium in ein gestrecktes und dann in ein mäandrierendes Entwässerungsmuster übergeht oder direkt verlandet. Aufgrund der komplexen fluviativen Entwicklungsgeschichte mit der Ausbildung 17 kohärenter Systeme, die alle wiederum mehrere Generationen beherbergen und aufgrund dessen, dass die fluviativen Strukturen die gesamte Breite der Niederterrasse einnehmen und auch südlich der Kinzig verbreitet sind (Gebiete 13 und 14, Abb. 4), ist dieses Gesamtsystem am treffendsten als Ostrandfluss-System zu bezeichnen. In Abb. 7 ist eine Zusammenschau des Ostrandfluss-Systems mit den 17 Gebieten (farbige Flächen), den Dünenrelikten (orangene Flächen) und den rekonstruierten Paläofließrichtungen (schwarze Pfeile) dargestellt. Letztere sind abgeleitet aus der Orientierung von Sedimentbarren und Rinnen.

Wie in Gebiet 14 (Abb. 5 und 6) beschrieben, deutet die Ausrichtung der Dünenrelikte und Rinnen auf den ältesten Flächen im südlichen Oberrheingraben darauf hin, dass sie von Südwesten durchströmt wurden. Deshalb muss dieses verflochtene System vor dem Eintiefen der heutigen Rheinaue aktiv gewesen sein und weiter nach Westen gereicht haben. Damit war es möglich, dass auch Wasser aus dem Einzugsgebiet der heutigen Ill in diesem verflochtenen System floss. Folglich wäre das Ostrandfluss-System Teil eines breit verflochtenen

Rhein-Ill-Vorläufer-Systems gewesen. Auch dieses Szenario wird bereits von TULLA (1822) und MADER (1926 in BLUM 1989) beschrieben.

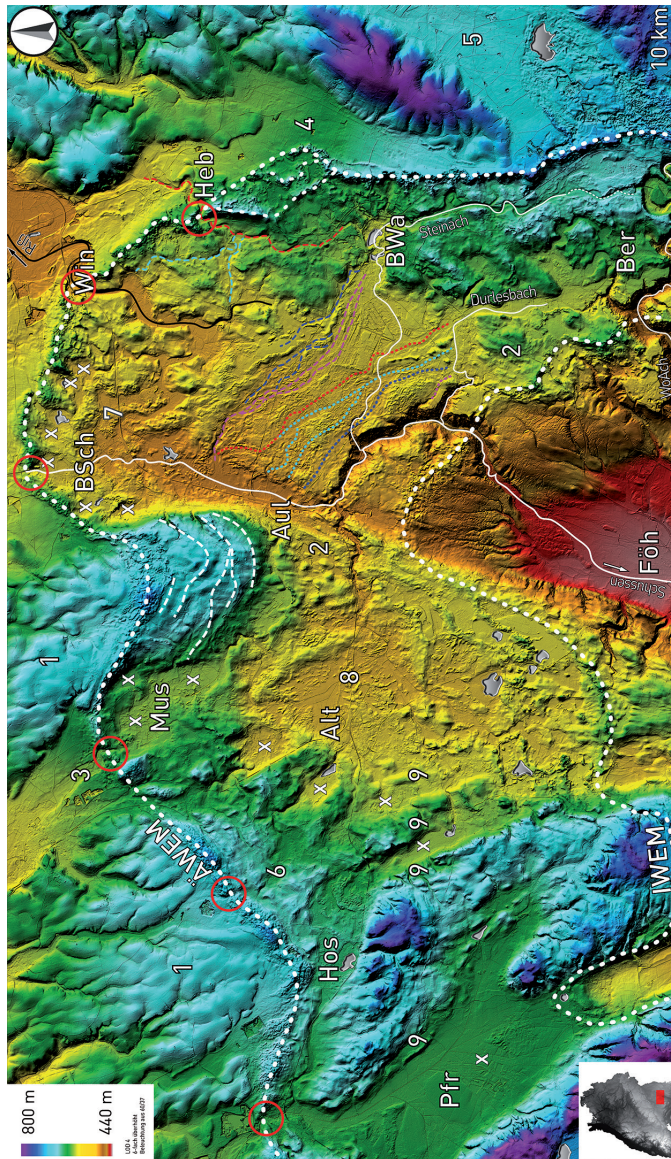
Eine zeitliche Einordnung liefert HOLZHAUER (2013), demzufolge der Rhein im ausgehenden Hochglazial (etwa 18 bis 16 Ka BP, *before present*, also vor 1950) ein verflochtenes System und die „Kinzig-Murg-Rinne“ im nördlichen Oberrheingraben zu Beginn der Jüngeren Dryas (etwa 12,7 bis 12,4 Ka BP) voll ausgebildet war. Allmählich fallen die Gebiete trocken, zunächst die hochgelegenen Bereiche, und schließlich verlanden auch tiefer eingeschnittene Gebiete. Nach BLUM (1989) gab es zwischen 10.000 und 3.000 Jahren vor unserer Zeitrechnung ein durchgehendes Rinnensystem zwischen Offenburg und Hoffenheim, dessen Rinnen durch mehrere Sand- und Kiesinseln getrennt waren.

#### SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Der größte Gewinn hinsichtlich der geologischen Interpretationsmöglichkeiten im hochauflösenden, großflächigen DGM von Baden-Württemberg liegt in den sehr jungen Landschaftsformen. Es sind dies hier die frühpleistozäne Eiszufallslandschaft von Oberschwaben und die spätpleistozäne und holozäne Flussdynamik im Oberrheingraben. Hierbei hat die hohe Auflösung (horizontal 1 m, Höhengenaugigkeit 0,15 m) besondere Bedeutung bei der Identifikation und Interpretation der Mikromorphologie. Zugleich liefert die großflächige Übersicht ein nützliches Hilfsmittel zur Gliederung der Landschaft. Dies führt dazu, dass die bekannten Formen der jungpleistozänen Vereisung in Oberschwaben und die Mikromorphologie im Oberrheingraben kartiert werden können. Insbesondere im Oberrheingraben und dort bei der Interpretation und Untergliederung der fluvialen Spuren auf der Niederterrasse geschieht dies anhand des Unterscheidungskriteriums. Sobald dieses nicht mehr anwendbar ist – weil Erosionskanten fehlen – stößt die Methode an ihre Grenzen. Ähnliches gilt für ältere Landformen: Diese lassen sich dann identifizieren, wenn sie flächig erhalten geblieben sind. Ein Beispiel dafür sind die unterschiedlichen morphologischen Einheiten in der Schichtstufenlandschaft.

Bei einem Vergleich der Erkenntnisse aus dem DGM mit denen aus der Literatur wird klar, dass diese weitgehend übereinstimmen. Der Erkenntnisgewinn mittels der Software TERRAINVIEW ist zudem überaus effizient. Eine gründliche Analyse des DGM bietet die Möglichkeit, sich zügig einen Überblick über eine Landschaft und ihre (jüngere) Entwicklungsgeschichte zu verschaffen. Dies führt zu dem Schluss, dass das Vorgehen hervorragend geeignet ist, wenig bekannte oder schwer zugängliche Gebiete zu erkunden. Als weiteres Anwendungsgebiet drängt sich die Bilanzierung (anthropogener) Massenbewegungen nahezu auf. Ein mittelbares Anwendungsgebiet könnte die (Re-)Konstruktion ehemaliger und zukünftiger Landschaften sein. Hierbei könnten charakteristische Relikte alter Landoberflächen als Vorlage für Konstruktionselemente dienen und damit die Geländeoberfläche entsprechend dem heutigen Landschaftsbefund rückwärts oder vorwärts entwickeln.

Die Entwicklungsgeschichte junger Landformen lässt sich aus dem Digitalen Geländemodell von Baden-Württemberg ableiten



**Abb. 1:** Eiszerfallandschaft bei Aulendorf mit glazialen und periglazialen Landformen (Zahlen) und wichtigen Ortschaften (Buchstaben), die im Text erläutert sind. DGM im LOD 4 und 6-fach überhöht. Außerdem liefert das DGM Erkenntnisse, wie das Schmelzwasser über mehrere Generationen eisrandparalleler und subglazialer Rinnen (farbig gestrichelte und gepunktete Linien) abfloss und schließlich an ehemaligen Gletschertoren (rote Kreise) die Äußere Würmendmoräne (ÄWEM) durchbrach.

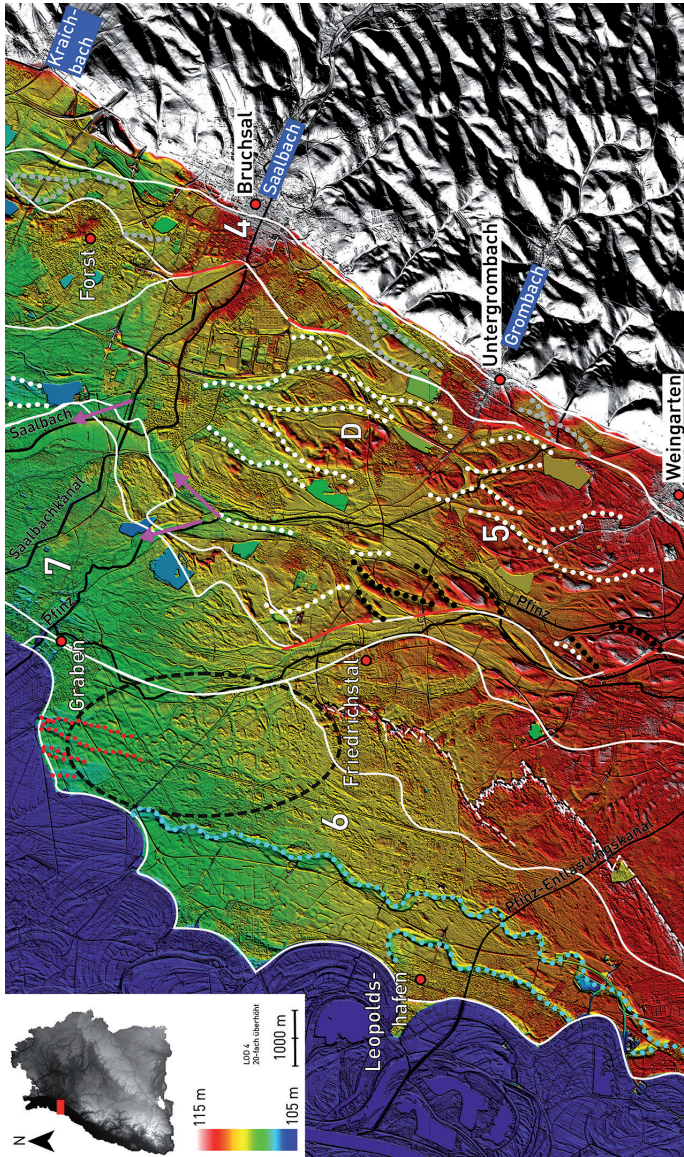


Abb. 2: Bei Bruchsal wird deutlich, wie anhand des Unterscheidungskriteriums und der Geländekanten (rote Linien) Gebiete voneinander abzugrenzen sind. Die Fließregime der abgegrenzten Gebiete entwickelten sich unabhängig weiter. Die gepunkteten Linien markieren Rinnen, in denen Wasser fließt. Gestrichelte Linien zeigen Dünenzüge (weiß gestrichelt) und Dünenfelder (schwarz gestrichelt) an. Farbhöhencodiertes DGM im LOD 4 und 20-fach überhöht.

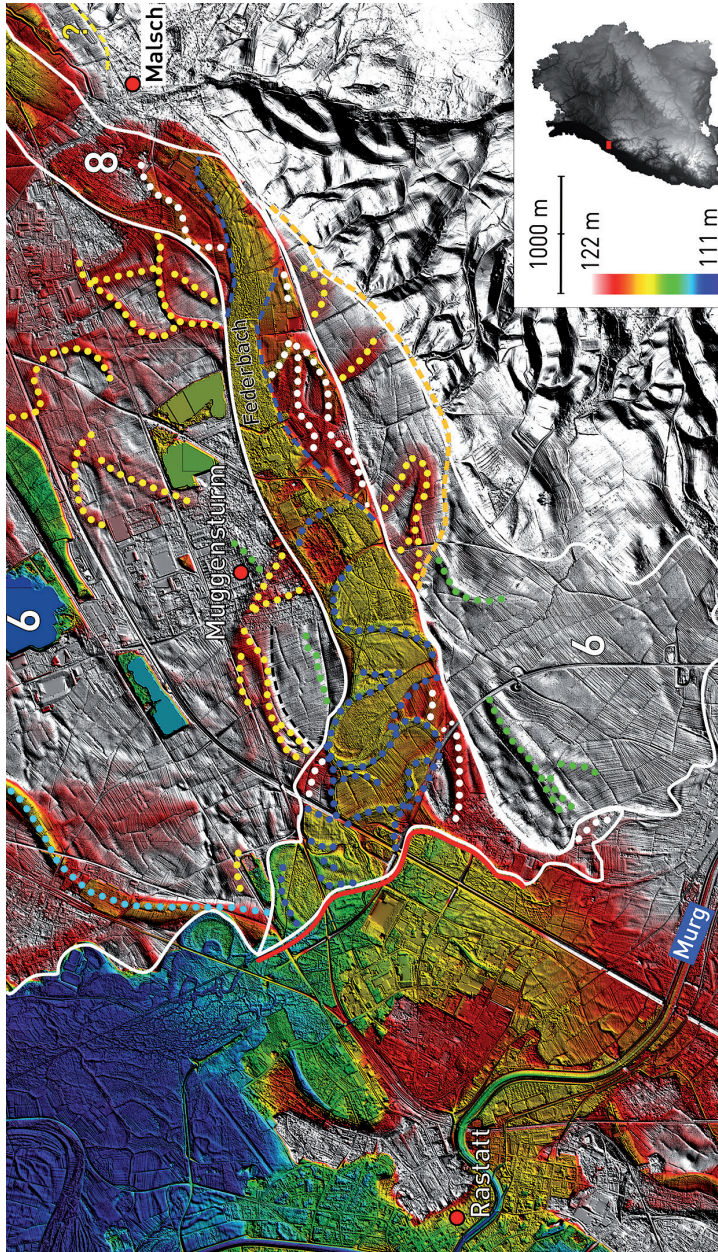
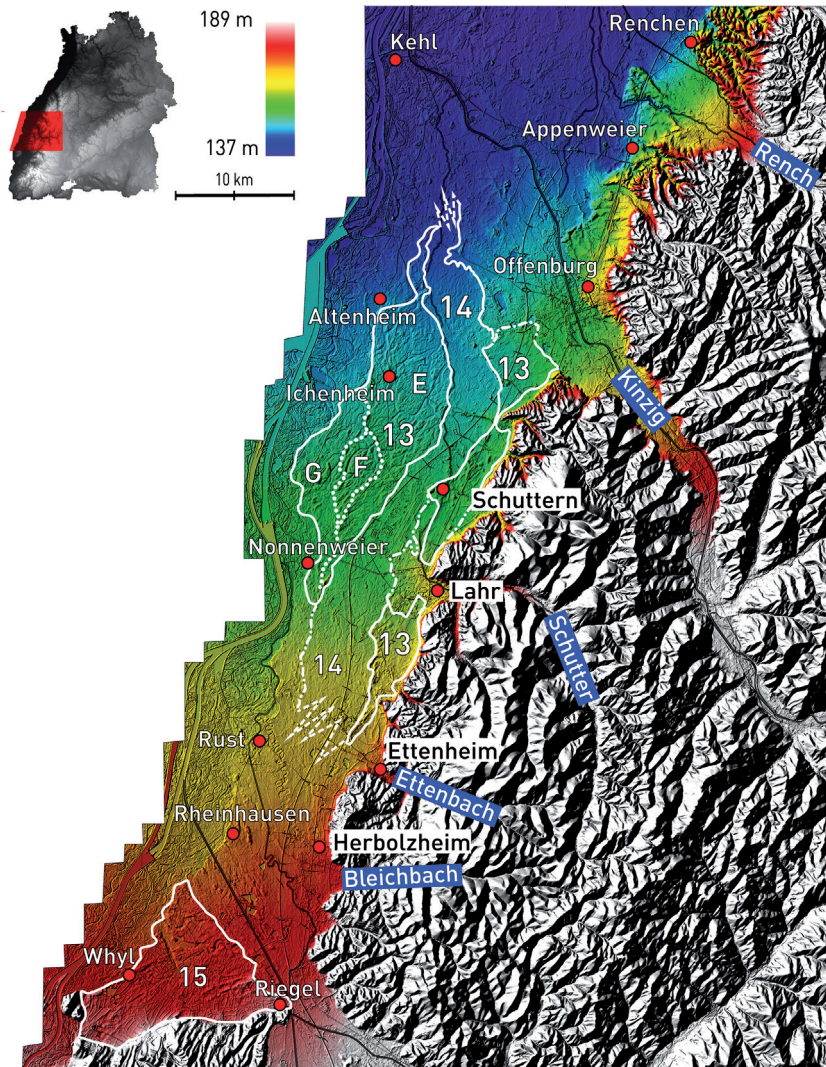
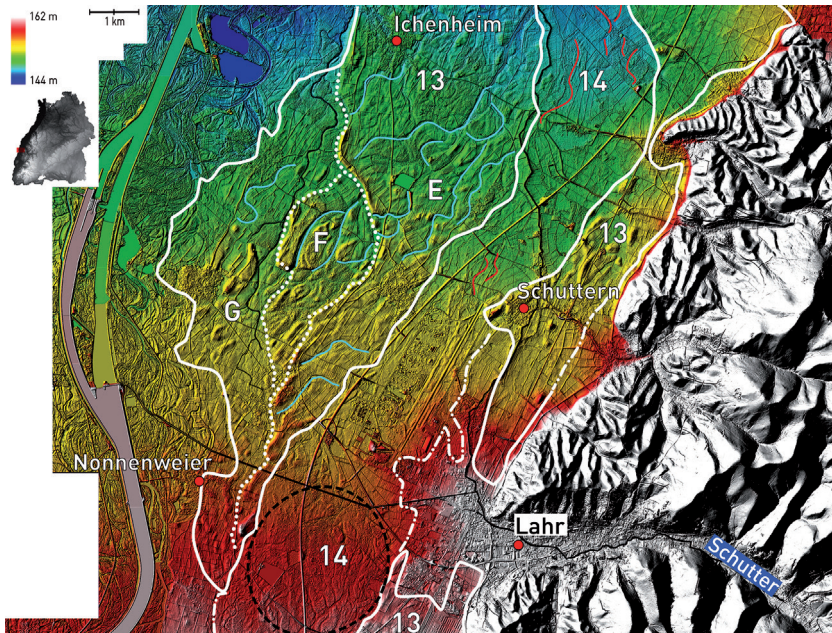


Abb. 3: Terrassengenerationen bei Rastatt wechseln von einem verflochtenen, nach Nordosten entwässernden System (grün, gelb und weiß gepunktet) zu einem mäandrierenden, nach Südwesten entwässernden System (blau gepunktet). Farbhöhenskaliertes DGM mit LOD 5 und in 20-facher Überhöhung.

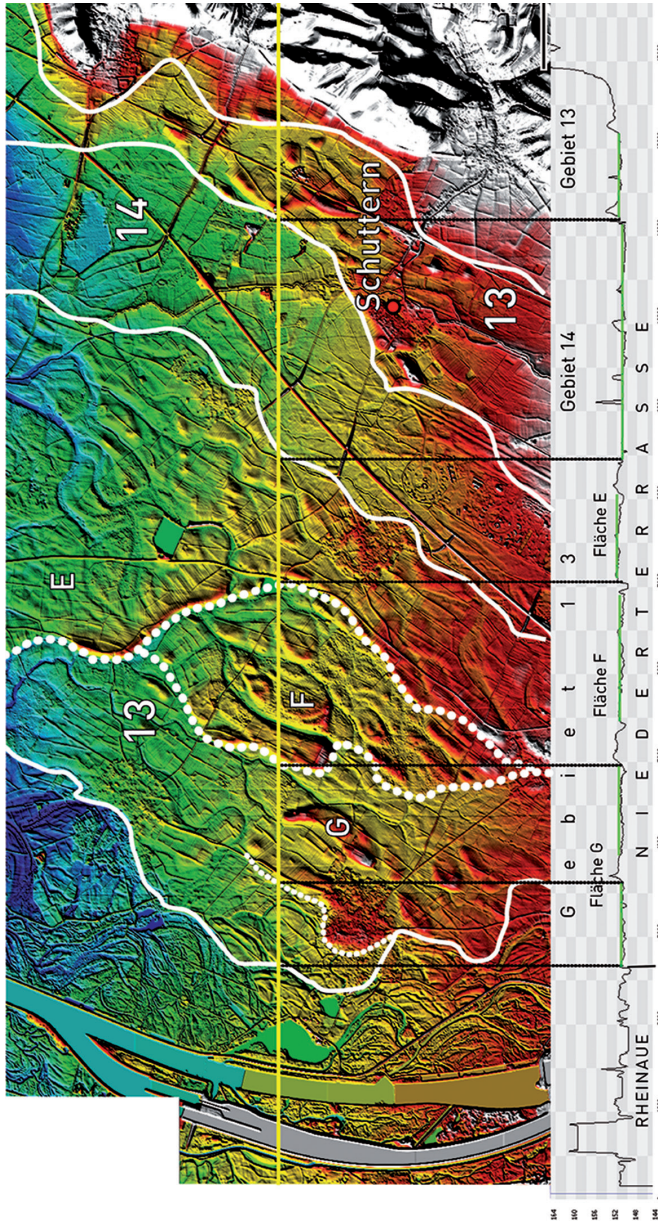




**Abb. 4:** Auch südlich der Kinzig hat sich eine Mittelrinne (Gebiet 14) in das fluvial überprägte Gebiet 13 eingeschnitten. Wahrscheinlich setzten sich nördlich der Kinzig die Mittelrinne und die randlichen Hochflächen fort. In Gebiet 13 bildeten sich Geländekanten (weiß gepunktet), die das Gebiet in die Bereiche E, F und G unterteilen. Im Norden und Süden verzahnt Gebiet 14 mit jüngeren Flussablagerungen (Zickzacklinien). In Gebiet 15 sind fluviale Spuren mit einer anderen Ausrichtung erhalten. Deutlich sind die Staustrufen bei Rheinhausen, Nonnenweier und Altenheim am Farbwechsel zu erkennen. DGM im LOD 2 und in 30-facher Überhöhung.



**Abb. 5:** Im mittleren Abschnitt der Gebiete 13 und 14 ist der Grenzverlauf nicht immer eindeutig (Strich-Punktlinie). Zunächst dominierte in Gebiet 13 ein verzopftes System, das von einem schlingenbildenden System (türkise Linien) abgelöst wurde. Danach haben sich Geländekanten (weiß gepunktet) gebildet, die Gebiet 13 in die Bereiche E, F und G unterteilen. Zu einem späteren Zeitpunkt tiefte sich eine breite Mittelrinne (Gebiet 14) ein. Gebiet 14 zeigt Rinnenrelikte (rote Linien), die ein mäandrierendes oder anastomosierendes System dokumentieren. Deutlich ist die Staustufe bei Nonnenweier durch den Farbwechsel zu erkennen. DGM im LOD 4 und in 30-facher Überhöhung.



**Abb. 6:** Profillinie (gelbe Linie) und Querprofil (unten) vom Rhein zum Schwarzwald durch Gebiet 13 und 14 auf Höhe des Nordendes der Staustufe Nonnenweier. Gebiet 14 liegt geringfügig tiefer als Gebiet 13. Im Westen ist Gebiet 13 durch Geländekanten (weiß gepunktete Linien) in mehrere Flächen (E, F, G) untergliedert. Dies zeigen auch die Höhenlagen (grüne Linien) der Flächen im Profil.

Die Entwicklungsgeschichte junger Landformen lässt sich aus dem Digitalen Geländemodell von Baden-Württemberg ableiten

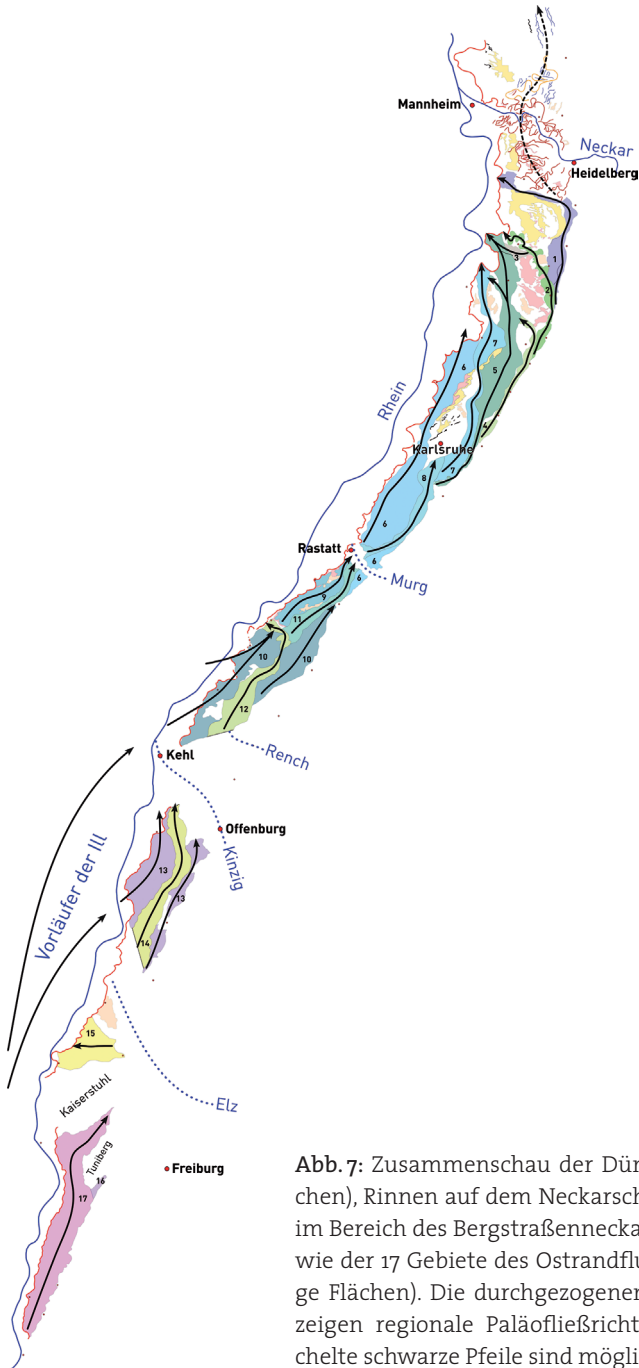


Abb. 7: Zusammenschau der Dünen (orangene Flächen), Rinnen auf dem Neckarschwemmfächer und im Bereich des Bergstraßenneckars (rote Linien), sowie der 17 Gebiete des Ostrandfluss-Systems (farbige Flächen). Die durchgezogenen schwarzen Pfeile zeigen regionale Paläofließrichtungen an. Gestrichelte schwarze Pfeile sind mögliche Fließwege und (gepunktete) blaue Linien sind große rezente Flüsse.

## DANK

Für die Verleihung des Walter-Schall-Preises bedanke ich mich ganz herzlich bei der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg und allen voran dem Spender, Herrn DR. WALTER SCHALL. Auch danke ich Herrn Prof. H. SEYFRIED und Herrn Prof. T. SIMON für die Betreuung meiner Doktorarbeit. Bei ihnen fand ich stets ein offenes Ohr bei Diskussionsbedarf. Ebenfalls danke ich Herrn Prof. K. REICHERTER, Aachen, der den Mitbericht übernahm. Dem Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung danke ich für die Bereitstellung der Daten, die Grundlage meiner Arbeit waren. Ohne eine leistungsfähige Software zur Visualisierung der Daten wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen: Herzlichen Dank an das Visualisierungsinstitut der Universität Stuttgart, seinen Leiter Prof. T. ERTL und an DR. T. MÜLLER, der die Software TERRAINVIEW entwickelte. Für meine Arbeit bekam ich finanzielle Unterstützung von der Landesgraduiertenförderung Baden-Württemberg, wofür ich sehr dankbar bin.

## LITERATUR

- BECKENBACH, E. (2016): Geologische Interpretation des hochauflösenden digitalen Geländemodells von Baden-Württemberg. 307 S. – Dissertation. Universität Stuttgart. <http://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/8863>
- BECKENBACH, E., MÜLLER, T., SEYFRIED, H. & T. SIMON (2014): Potential of a high-resolution DTM with large spatial coverage for visualization, identification and interpretation of young (Würmian) glacial geomorphology – a case study from Oberschwaben (Southern Germany). – *Quaternary Science Journal*, **63** (2): 107–129. DOI: 10.3285/eg.63.2.01.
- BLUM, G. (1989): Die Kinzig-Murg-Rinne im Landkreis Rastatt – Geologische und geomorphologische Untersuchungen zur Lage und zum Verlauf der Kinzig-Murg-Rinne im Landkreis Rastatt anhand von Luftbildern, Geländekartierung, Bohrungen und Gemarkungskarten. 93 S. – Diplomarbeit. Johannes Gutenberg Universität Mainz.
- ELLWANGER, D., WIELANDT-SCHUSTER, U., FRANZ, M. & T. SIMON (2011): The Quaternary of the southwest German Alpine Foreland (Bodensee-Oberschwaben, Baden-Württemberg, Southwest Germany). – *Quaternary Science Journal*, **60** (2-3): 306–328. doi: 10.3285/eg.60.2-3.07.
- HANSEL, H. (1989): Geologische Karte 1:25.000, Blatt 8226 Isny im Allgäu/Nord. – Stuttgart (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- HOLZHAUER, I. (2013): Landschaftsgeschichte und menschlicher Einfluss im Umfeld der Schwetzinger Hardt seit dem Würm-Hochglazial. 268 S. – Dissertation. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.
- SCHMIDT, M. & M. BRÄUHÄUSER (1911): Geologische Karte 1:25.000, Blatt 8324 Wangen im Allgäu/West. Nachträge: SCHREINER, A. – Stuttgart (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- SCHMIDT, A., MÜNST, M. & M. SCHMIDT (1979): Geologische Karte 1:25.000, Blatt 8323 Tettang. Nachträge: SCHREINER, A. – Stuttgart (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).

- SZENKLER, C. & D. ELLWANGER (1996): Geologische Karte 1:25.000, Blatt 8125 Leutkirch/West. – Freiburg i. Br. (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- SZENKLER, C. & D. ELLWANGER (1997a): Geologische Karte 1:25.000, Blatt 8124 Wolfegg. – Freiburg i. Br. (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg).
- SZENKLER, C. & D. ELLWANGER (1997b): Geologische Karte 1:25.000, Blatt 8224 Vogt. – Freiburg i. Br. (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- SZENKLER, C. & D. ELLWANGER (2001a): Geologische Karte 1:25.000, Blatt 8022 Ostrach. – Freiburg i. Br. (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg).
- SZENKLER, C. & D. ELLWANGER (2001b): Geologische Karte 1:25.000, Blatt 8122 Wilhelmsdorf. – Freiburg i. Br. (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg).
- SZENKLER, C. & D. ELLWANGER (2001c): Geologische Karte 1:25.000, Blatt 8123 Weingarten. – Freiburg i. Br. (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg).
- TULLA, J.G. (1822): [Als Manuskript ohne Titel gedruckt.] Der Rhein von Basel bis Mannheim mit Begründung der Nothwendigkeit, diesen Strom zu regulieren: zur Vertheilung an die Mitglieder der hohen Staatsregierung und beider Kammern der badischen Landstände. 88 S. – Leipzig.
- WEIDENBACH, F. (1975): Geologische Karte 1:25.000 mit Erläuterungen zum Blatt 8023 Aulendorf. 126 S. – Stuttgart (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- WEIDENBACH, F. (1997): Geologische Karte 1:25.000, Blatt 8024 Bad Waldsee. – Freiburg i. Br. (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).

**Anschrift der Autorin:**

ELENA BECKENBACH  
Kapfenburgstraße 76  
70469 Stuttgart  
Email: Elena.beckenbach@mail.de